



USO DA BIOMASSA FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

Thiago Oliveira Rodrigues, MsC. Ciências
Florestais, UnB/Funtec

Dr. Patrick Rousset, CIRAD/LPF/SFB

Brasília, 22 de setembro de 2009



2ª Semana
Acadêmica de
Engenharia
Florestal

Sumário

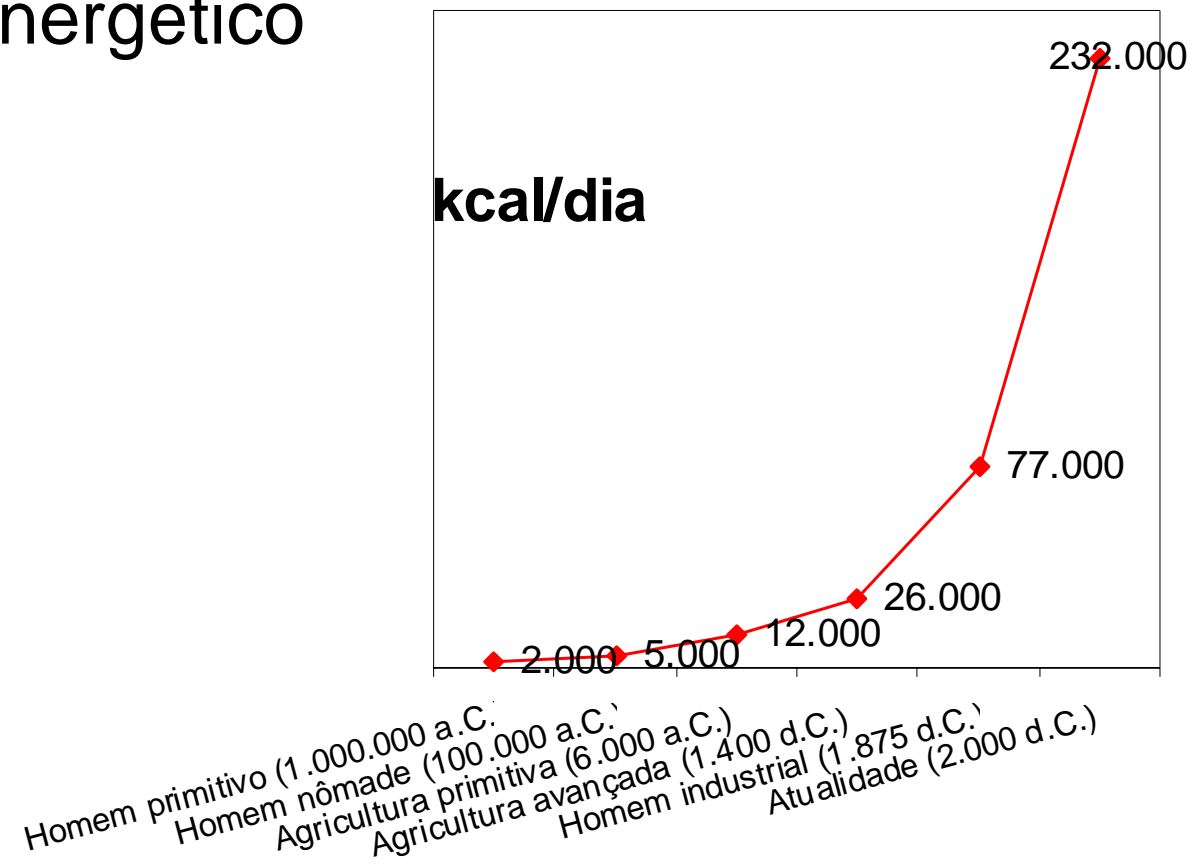
- Matriz Energética
- Florestas
- Madeira
- Tecnologias
- Propriedades





Matriz Energética

- Consumo energético
per capita



Matriz Energética

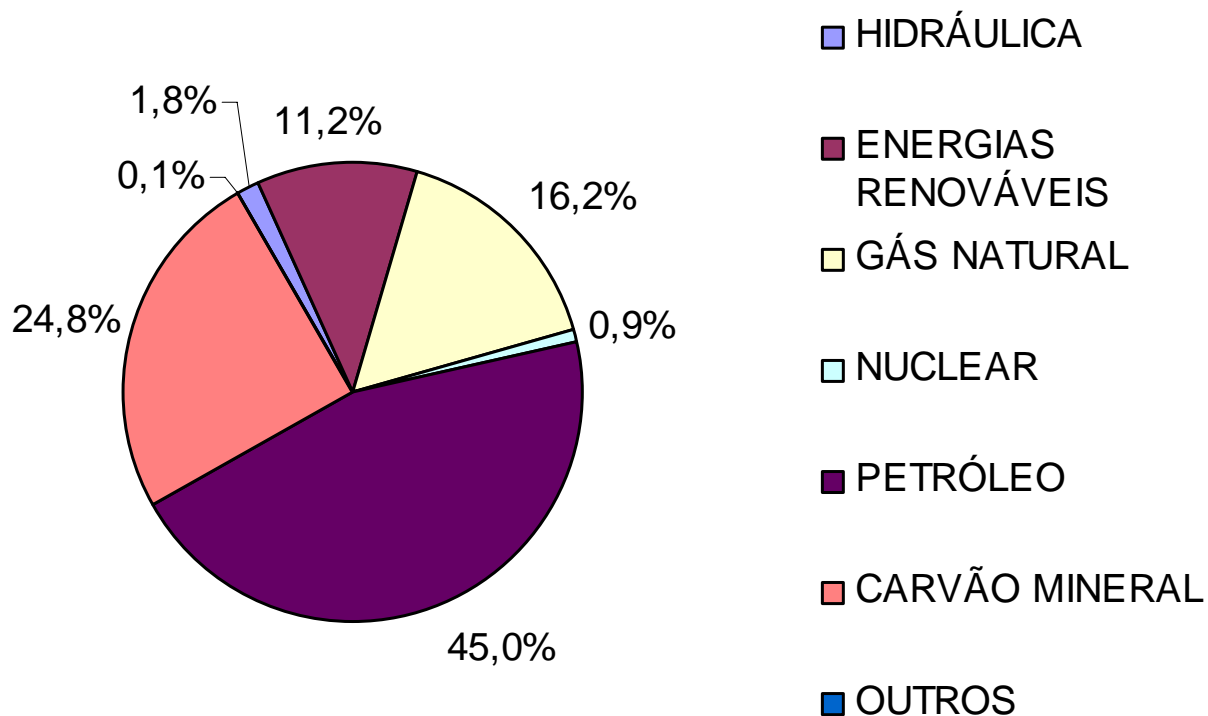
Consumo de Energia per capita (Kcal/dia)

	Alimentação	Uso Doméstico	Indústria e Agricultura	Transporte	TOTAL
Homem Primitivo (1.000.000 ac)	2.000	-	-	-	2.000
Homem Nômade(100.000 ac)	3.000	2.000	-	-	5.000
Agricultura Primitiva (6.000 ac)	4.000	4.000	4.000	-	12.000
Agricultura Avançada (1.400 dc)	6.000	12.000	7.000	1.000	26.000
Homem Industrial (1875 dc)	7.000	32.000	24.000	14.000	77.000
Atualidade (EUA)	10.000	68.000	91.000	63.000	232.000

Fonte: Goldemberg

Matriz Energética

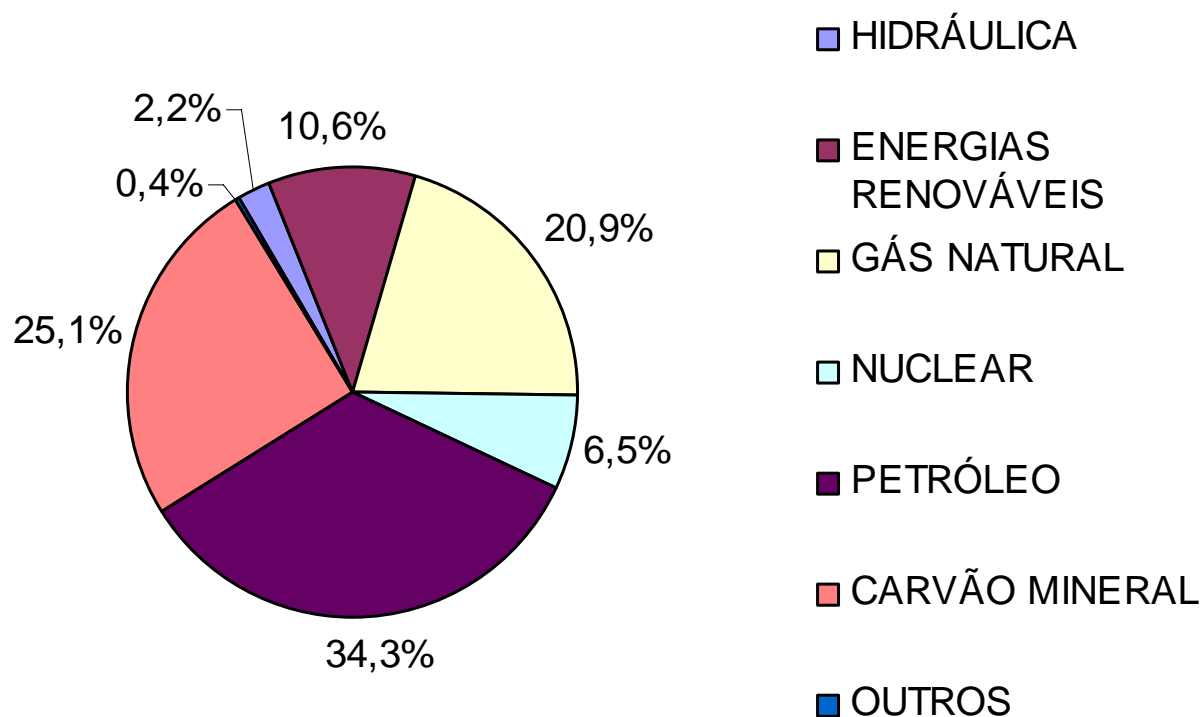
- Oferta energética mundial (1973)



Fonte: The International Energy Agency (IEA, 2006).

Matriz Energética

- Oferta energética mundial (2004)



Fonte: The International Energy Agency (IEA, 2006).

Matriz Energética

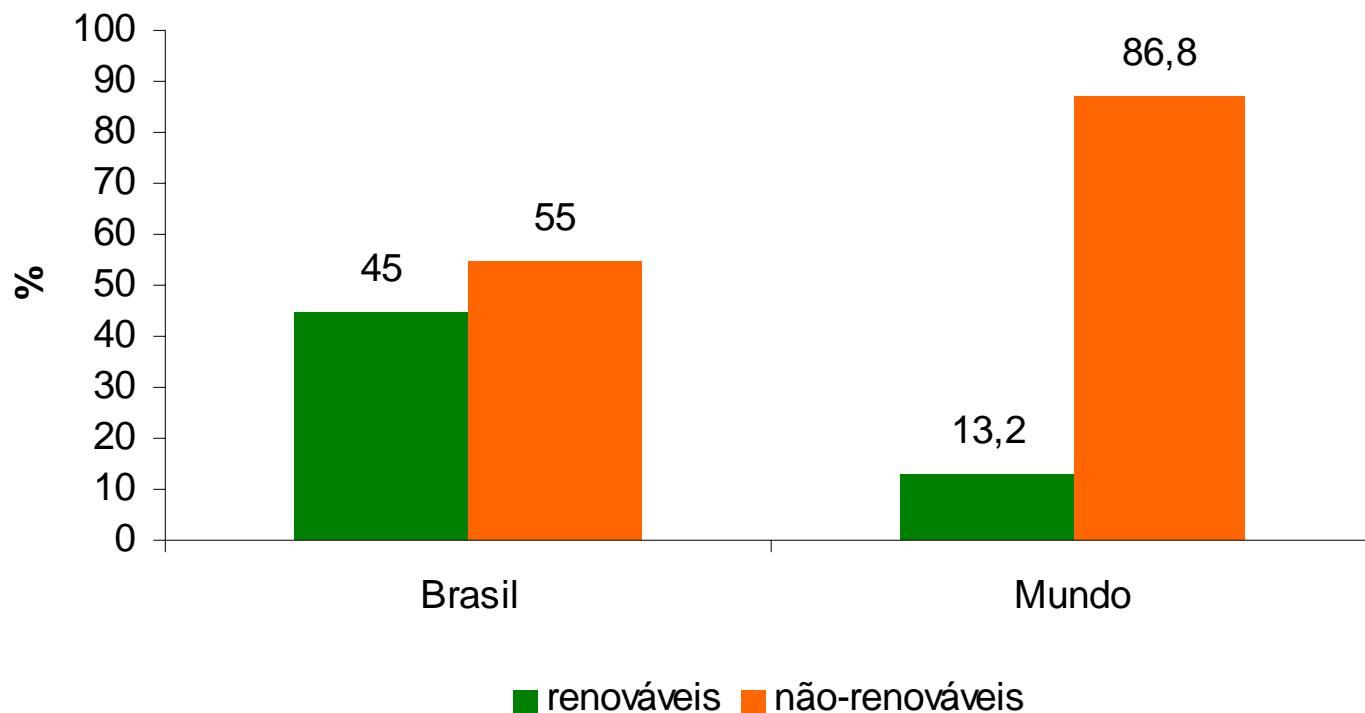
- Oferta interna de energia - Brasil (2008)

	2008
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL	54,7%
Petróleo e Derivados	36,7%
Gás Natural	10,3%
Carvão Mineral e Derivados	6,2%
Urânio (U_2O_8) e Derivados	1,5%
ENERGIA RENOVÁVEL	45,3%
Energia Hidráulica e Eletricidade	13,8%
Lenha e Carvão Vegetal	11,6%
Produtos da Cana-de-açúcar	16,4%
Outras Renováveis	3,5%

Fonte: BEN, 2009.

Matriz Energética

- OIE – Brasil x Mundo

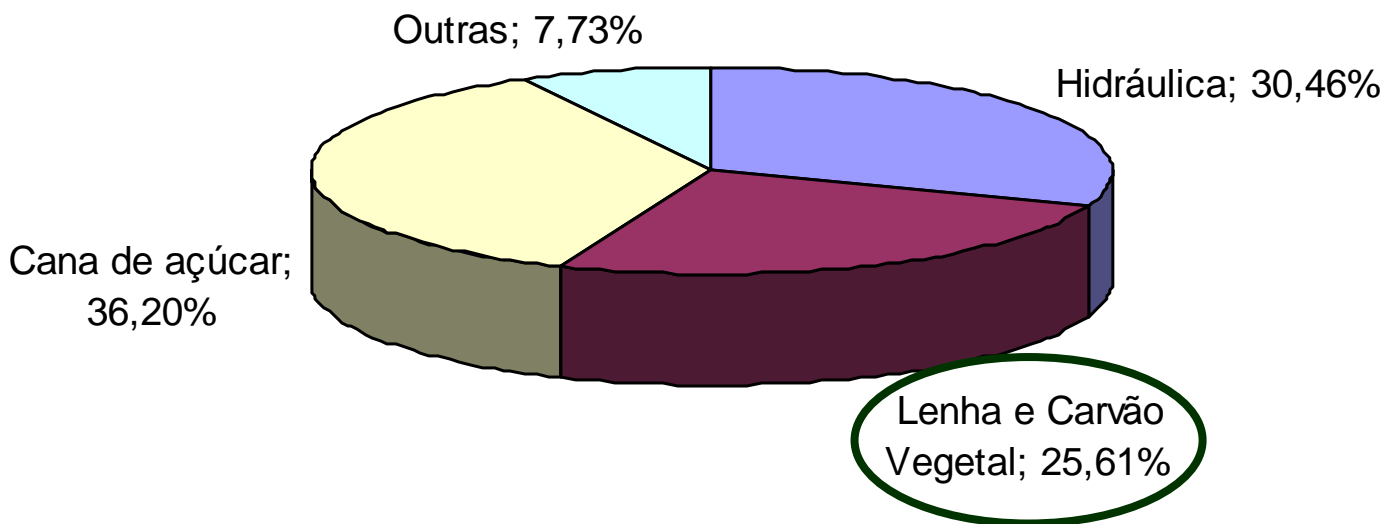


Fonte: BEN – resultados preliminares, 2007.

Matriz Energética

- Energias renováveis – Brasil (2008)

ENERGIAS RENOVÁVEIS



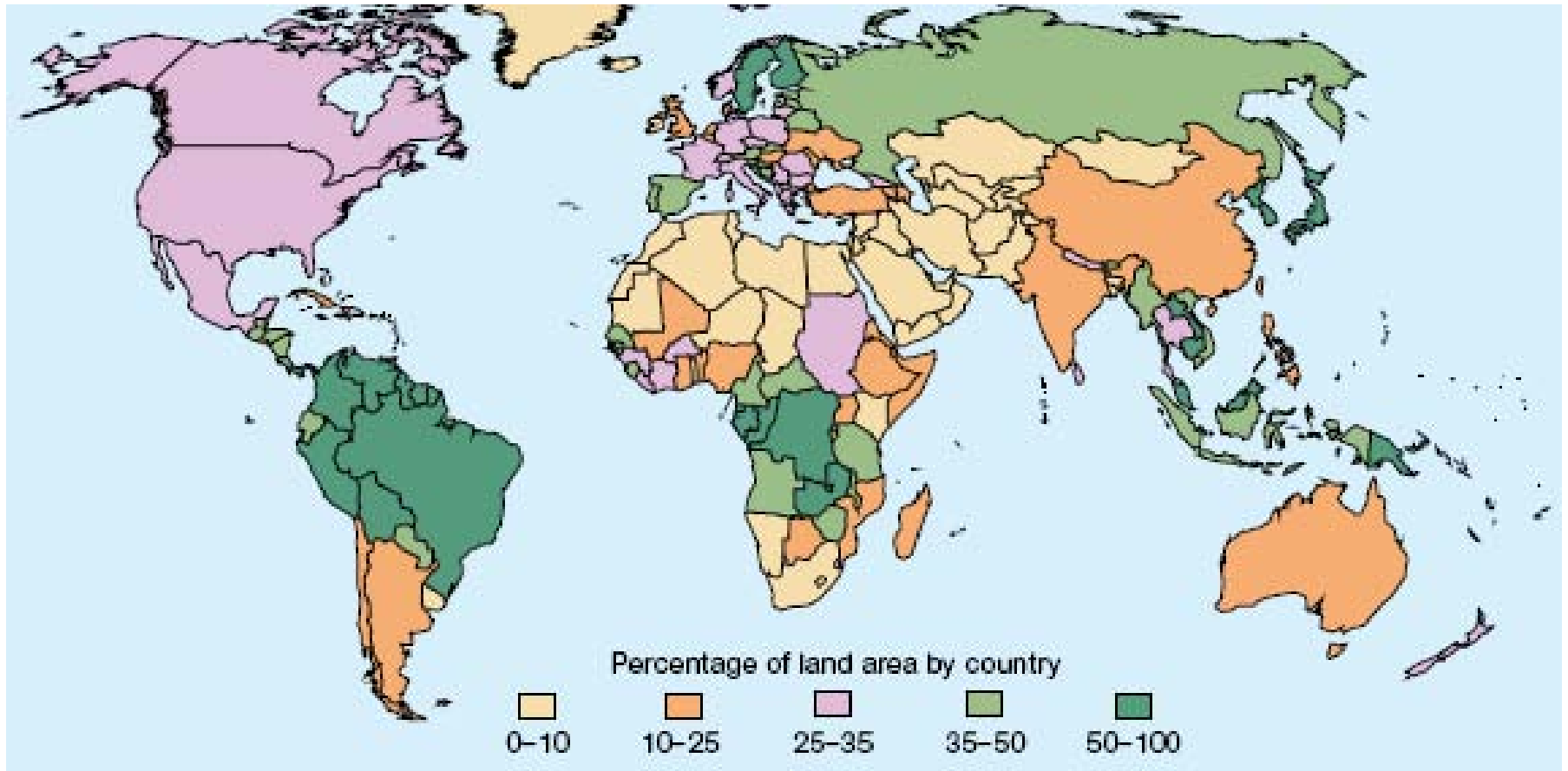
Fonte: BEN, 2009.



Florestas

- Florestas no mundo

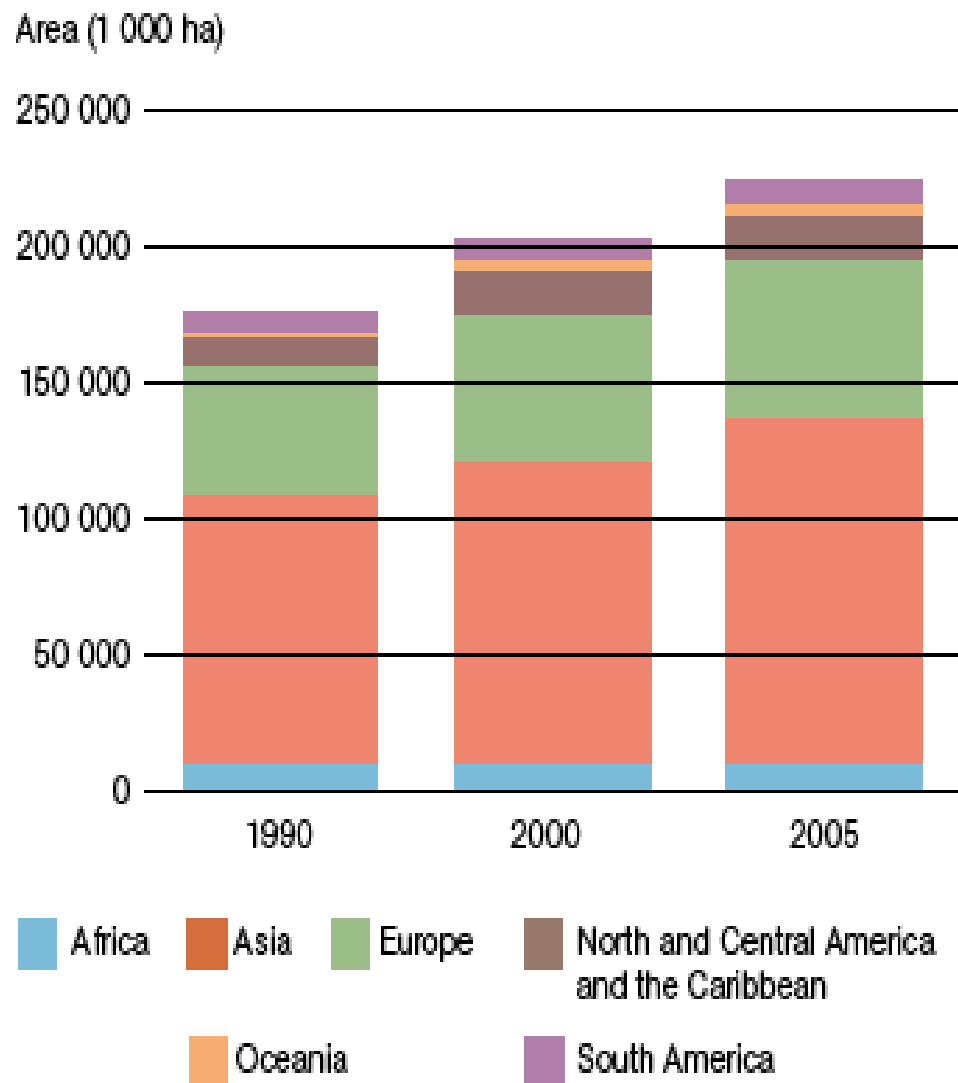
4 bilhões de hectares = 30% da superfície do planeta



Florestas

- Distribuição das florestas plantadas no mundo.

261 milhões de hectares =
6,5% da cobertura
florestal



Fonte: State of the World's Forests,
FAO, 2007

Florestas

- Os 10 países com as maiores áreas de florestas plantadas, 2005.

País	Área (1.000 ha.)
China	71.326
Índia	30.028
EUA	17.061
Rússia	16.963
Japão	10.321
Suécia	9.964
Polônia	8.757
Sudão	6.619
Brasil	5.384
Finlândia	5.270
Total	181.693

Fonte: State of the World's Forests,
FAO, 2007

Florestas

- Brasil florestal

Área total absoluta:
851 milhões de
hectares;

Florestas naturais:
477,7 milhões de
hectares;

Florestas plantadas:
5,6 milhões de
hectares.

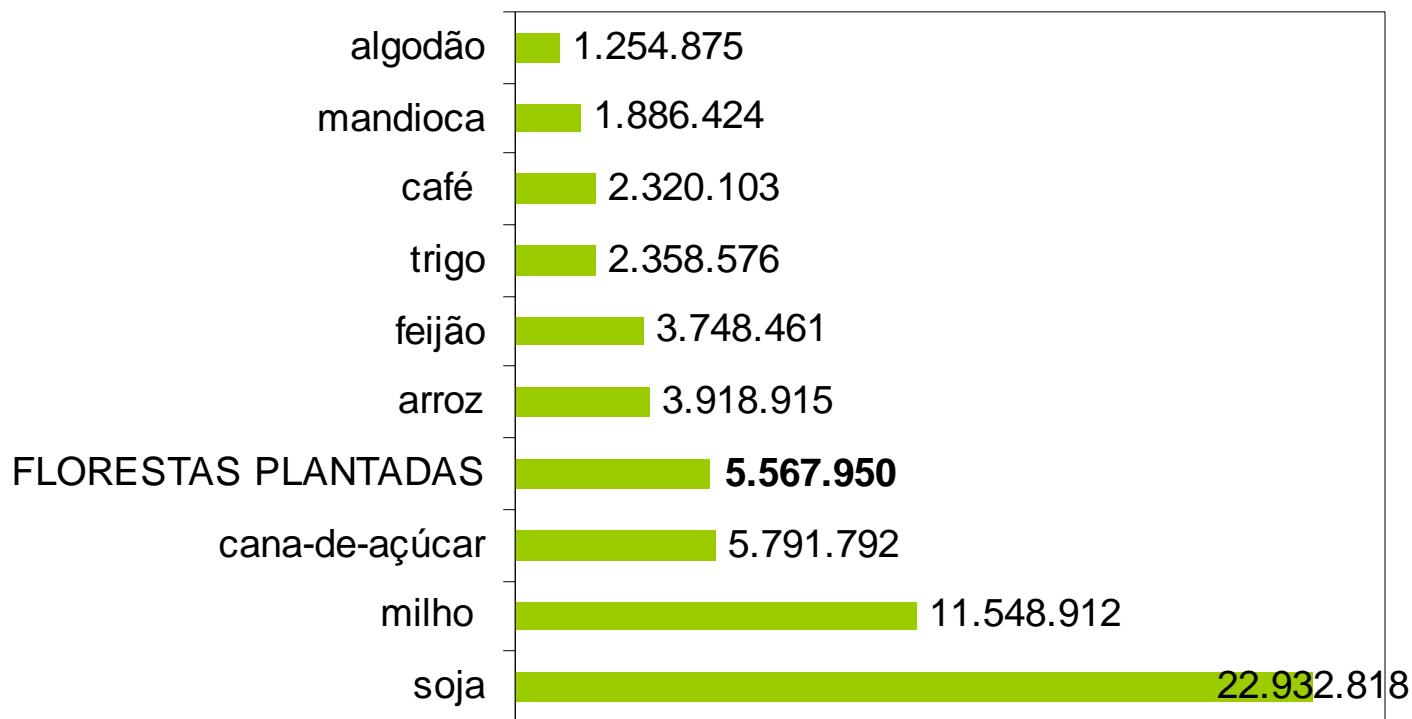


Florestas

- Brasil florestal
 - Florestas plantadas: 0,7% do território nacional e 1% do solo agropecuário;
 - Cobertura florestal *per capita*: 2,6 ha/hab;
 - Parcela de contribuição para o PIB: 3,5%.

Florestas

Áreas plantadas por diversas culturas (ha) – 2005



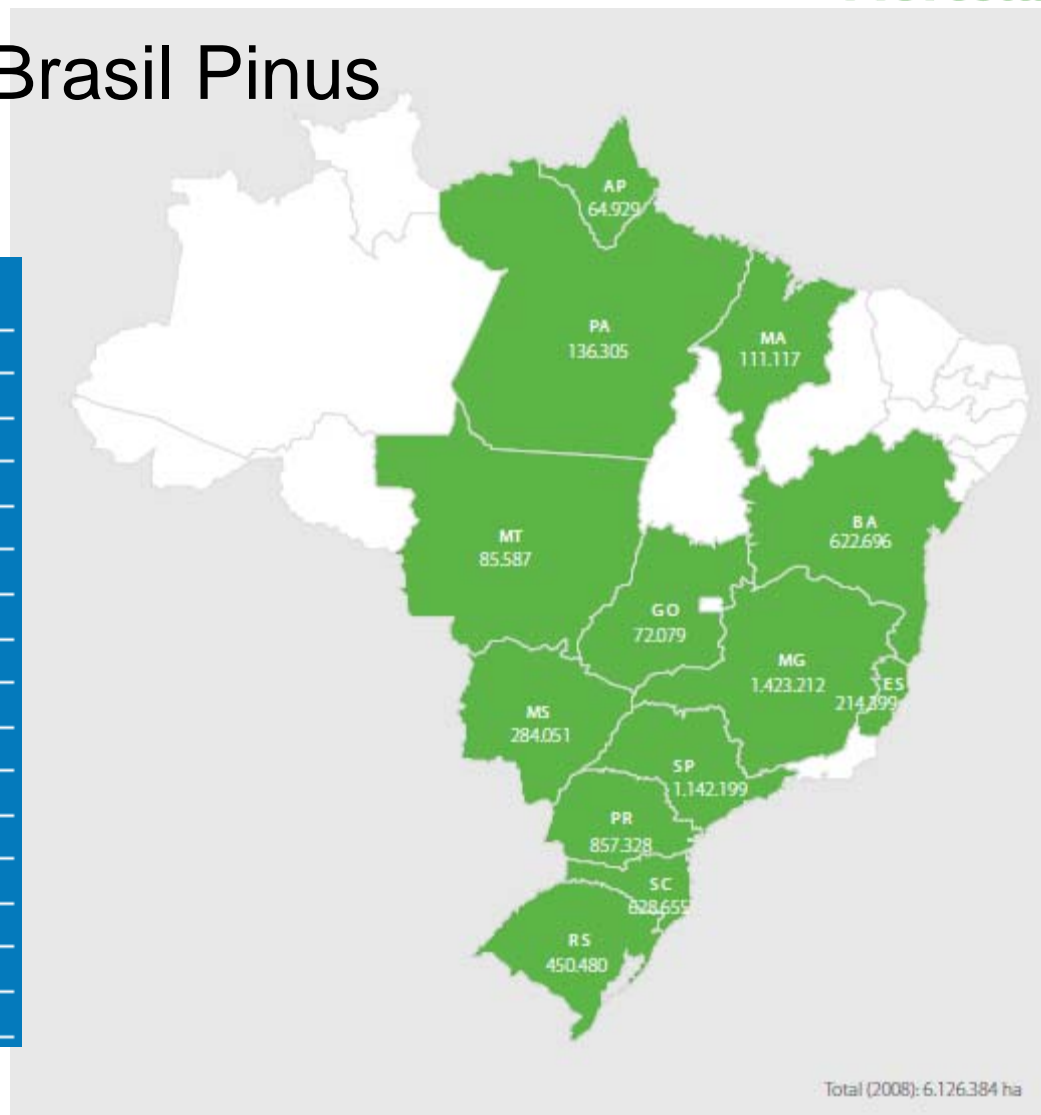
Fonte: IBGE, 2006

Florestas

Florestas plantadas no Brasil Pinus e Eucalipto – 2009

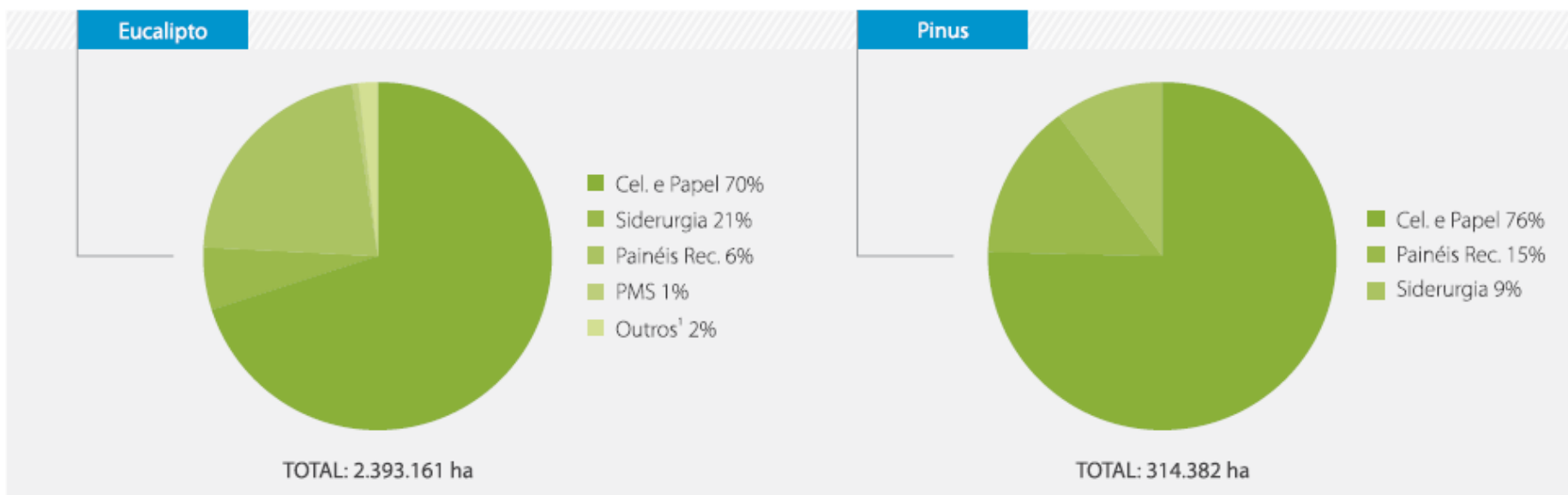
Área Total (ha)

ESTADO	2004	2005	2006	2007	2008
MG ¹	1.190.048	1.269.174	1.327.429	1.361.607	1.423.212
SP ²	888.002	946.542	1.130.332	1.121.529	1.142.199
PR	774.518	792.768	808.361	824.648	857.328
SC	573.398	588.245	601.333	622.045	628.655
BA	533.665	582.132	594.992	591.348	622.696
RS	322.455	364.770	365.623	404.623	450.480
MS	126.717	152.341	147.819	228.384	284.051
ES	183.767	208.933	212.208	212.912	214.399
PA	100.193	106.182	115.955	126.387	136.305
MA	57.852	60.745	93.285	106.802	111.117
AP	83.742	87.928	78.963	67.874	64.929
GO	56.806	60.872	64.046	65.107	72.079
MT	42.459	42.460	46.153	57.158	58.587
Outros	29.289	31.112	45.581	46.186	60.346
TOTAL	4.963.511	5.294.204	5.632.080	5.836.610	6.126.384



Florestas

- Pinus – 1,87 milhão de hectares;
- Eucalipto – 4,26 milhões de hectares;
- **TOTAL – 6,13 milhões de hectares.**



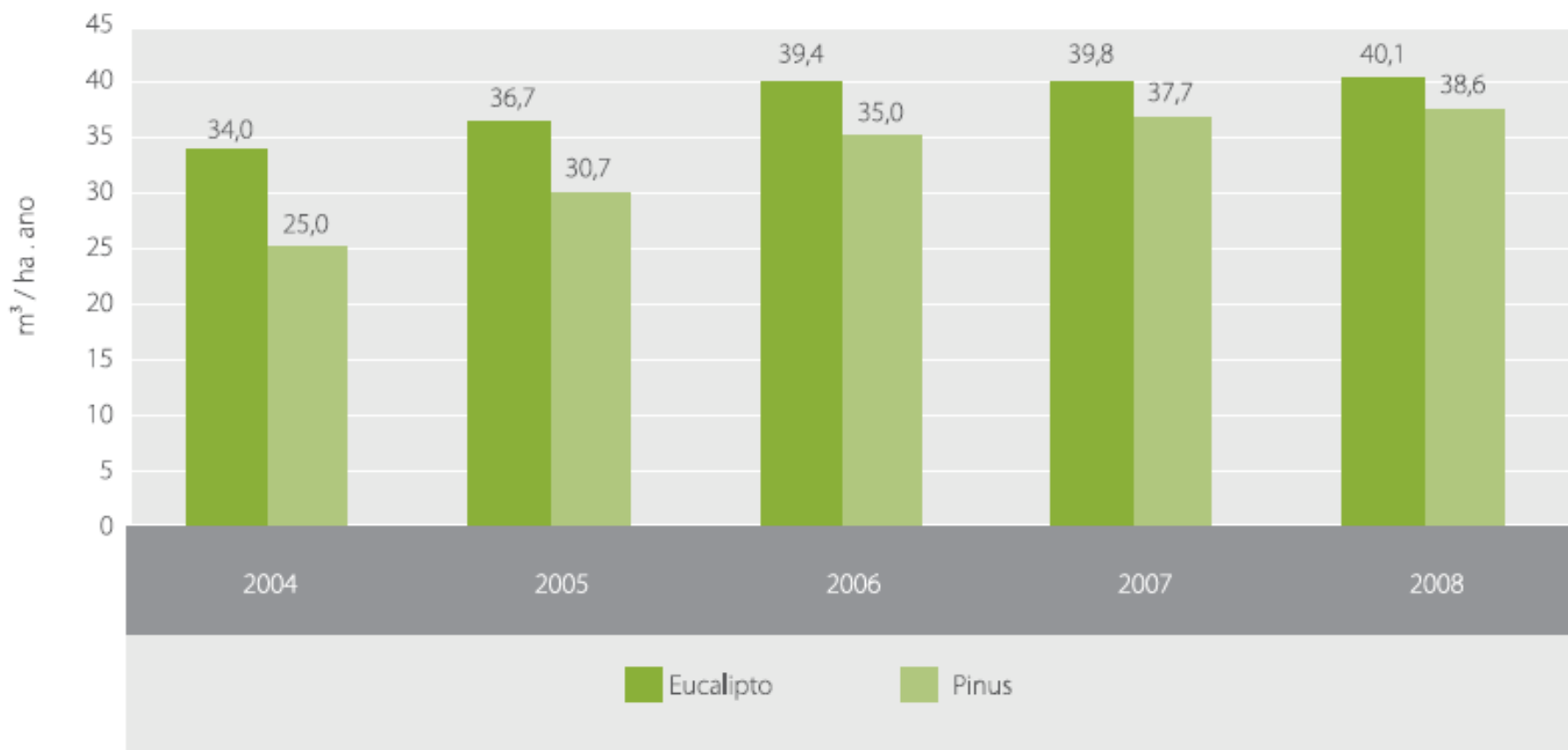
Florestas

Florestas plantadas no Brasil –outras espécies – 2009

Espécie	Área plantada (ha)
Acácia	181.780
Seringueira	117.506
Paricá	80.177
Teca	58.813
Araucária	12.525
<i>Populus spp.</i>	4.022
TOTAL	456.689

Florestas

Incremento médio anual de florestas plantadas



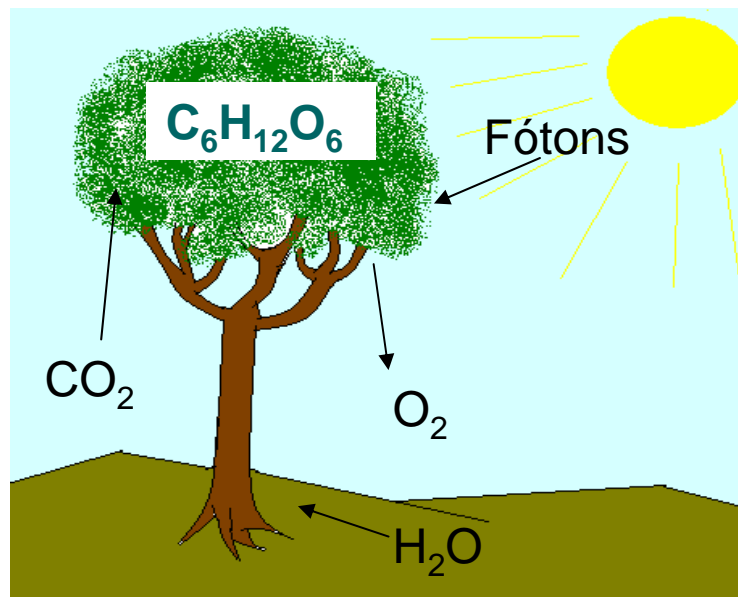
Fonte: ABRAF, 2009

Madeira

- Fotossíntese

- Aproveitamento de 0,023% da energia solar;
- Energia luminosa \longrightarrow Energia química;

- **$6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{luz} + \text{clorofila}$**



Madeira

- Biomassa
 - Sacarídeos ($C_{11}H_{22}O_{11}$): cana-de-açúcar, beterraba, etc.;
 - Amiláceos ($C_6H_{10}O_5$): mandioca, milho, etc.;
 - Ligno-celulósicos (lignina e celulose):
madeira;
 - Triglicerídeos (óleos vegetais): palma, amendoim, etc.

Madeira

- Combustíveis da biomassa
 - Álcoois (etanol e metanol);
 - óleos vegetais;
 - lenha;
 - carvão vegetal;
 - madeira torrificada;
 - Subprodutos de conversão (alcatrão,vinhoto);
 - Biomassa residual.

Madeira

- Madeira = dendrocombustível
 - Composição elementar:

Carbono	Hidrogênio	Oxigênio	Compostos inorgânicos
50%	5%	44%	1%

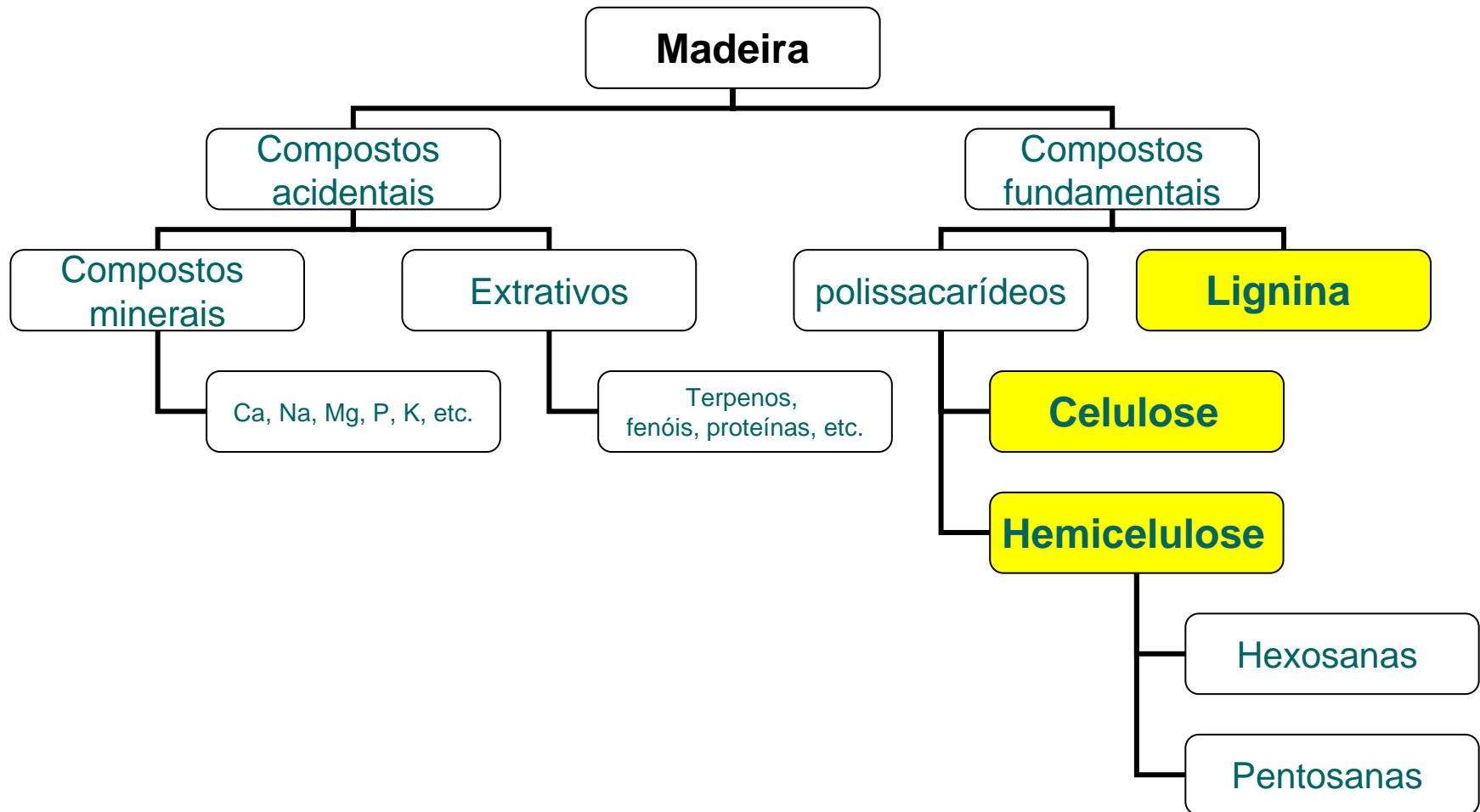
Fonte: Rowell, 2005.

Madeira

- Madeira = dendrocombustível
 - Composição molecular:

	celulose	hemicelulose	lignina
Folhosas	38 a 49%	19 a 26%	23 a 30%
Coníferas	40 a 45%	7 a 14%	26 a 34%

Madeira



Madeira

- Madeira para fins energéticos
 - Rápido crescimento (alta produtividade);
 - Média a alta densidade ($> 0,60 \text{ g/cm}^3$);
 - Baixa exigência quanto às condições climáticas e edáficas;
 - Rebrotas vigorosas;
 - Fácil produção de mudas;
 - Não indicada para outros usos (móveis, lâminas, etc.).



Madeira

- Principais espécies para uso energético
 - **Nativas** – Acácias (*Acacia sp*), Amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*), Angicos (*Anadenanthera sp*), Bracatinga (*Mimosa scabrella*), Carvoeiro (*Sclerolobium sp*) Jurema (*Mimosa tenuiflora*);
 - **Exóticas** – Eucaliptos (*Eucalyptus sp*), Pinheiros (*Pinus sp*), Grevílea (*Grevillea robusta*), Gmelina (*Gmelina arborea*), Salgueiro (*Salix sp*), Choupo (*Populus sp*).



Madeira

- Acácia
 - *Acacia polyphylla*;
 - Densidade:
0,79 g/cm³;
 - Plantios no sul do Brasil;
 - Tanino.





Madeira

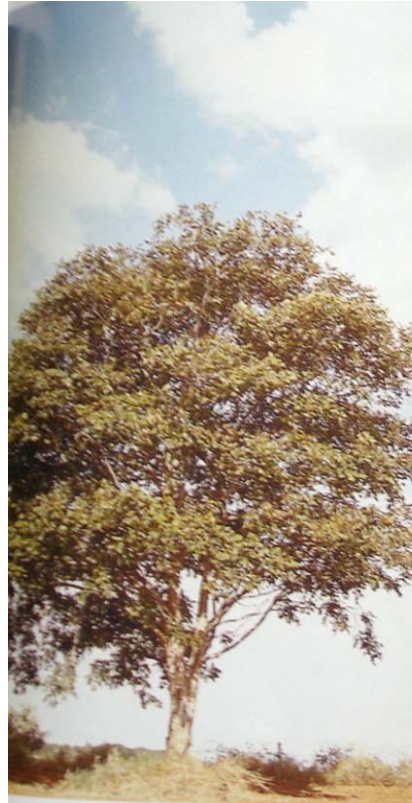
- Bracatinga
 - *Mimosa scabrella*;
 - Densidade:
 $0,67\text{g/cm}^3$;
 - Carvão de
bracatinga no PR;
 - Minas Gerais ao
Rio Grande do
Sul.





Madeira

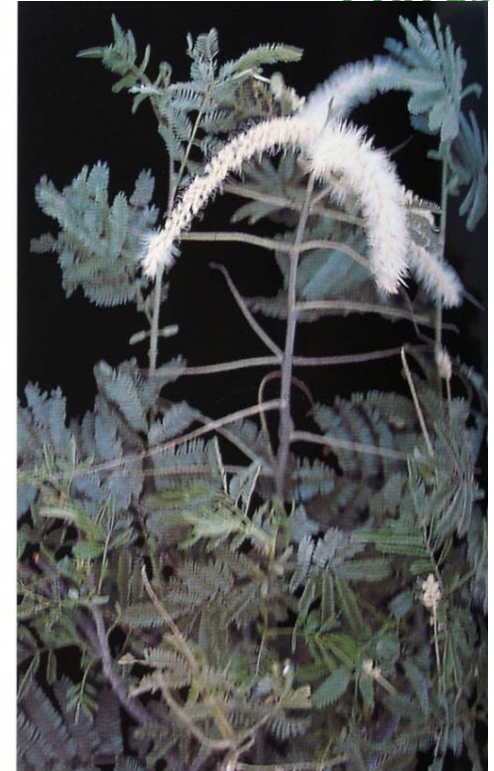
- Carvoeiro
 - *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* ;
 - Densidade:
 - 1,02 g/cm³;
 - Áreas degradadas;
 - Floresta amazônica e Cerrado.





Madeira

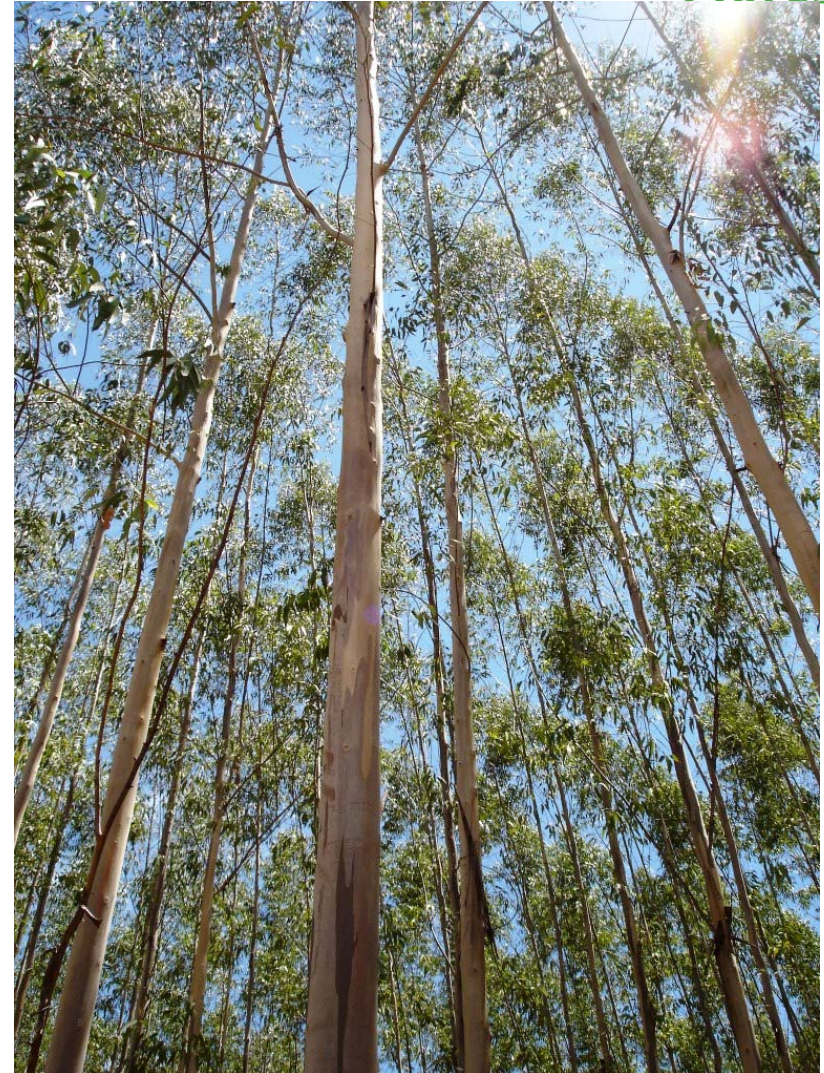
- Jurema preta
 - *Mimosa tenuiflora*;
 - Densidade: 1,12 g/cm³;
 - Projetos de silvicultura no Semi-árido;
 - Caatinga.





Madeira

- Eucalipto
 - Mais de 600 espécies;
 - Alta produtividade (50 m³/ha.ano);
 - Maiores maciços florestais no Brasil;
 - Maior fonte para produção de carvão.





Madeira

- Pinheiro
 - Gênero mais plantado no mundo (*Pinus sp*);
 - Alto teor de lignina;
 - Até 30m³/ha.ano;
 - 2º gênero mais plantado no Brasil.





Madeira

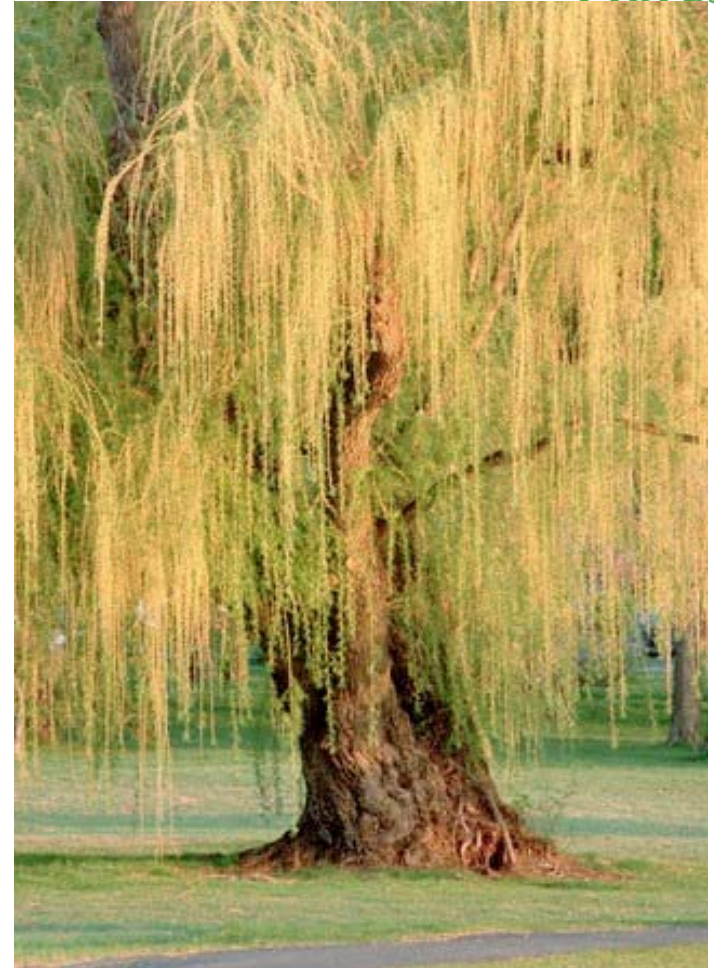
- Grevílea
 - *Grevillea robusta*;
 - Nativa da Austrália;
 - Plantios como cortinas quebra-vento;
 - Plantios no sul do país.



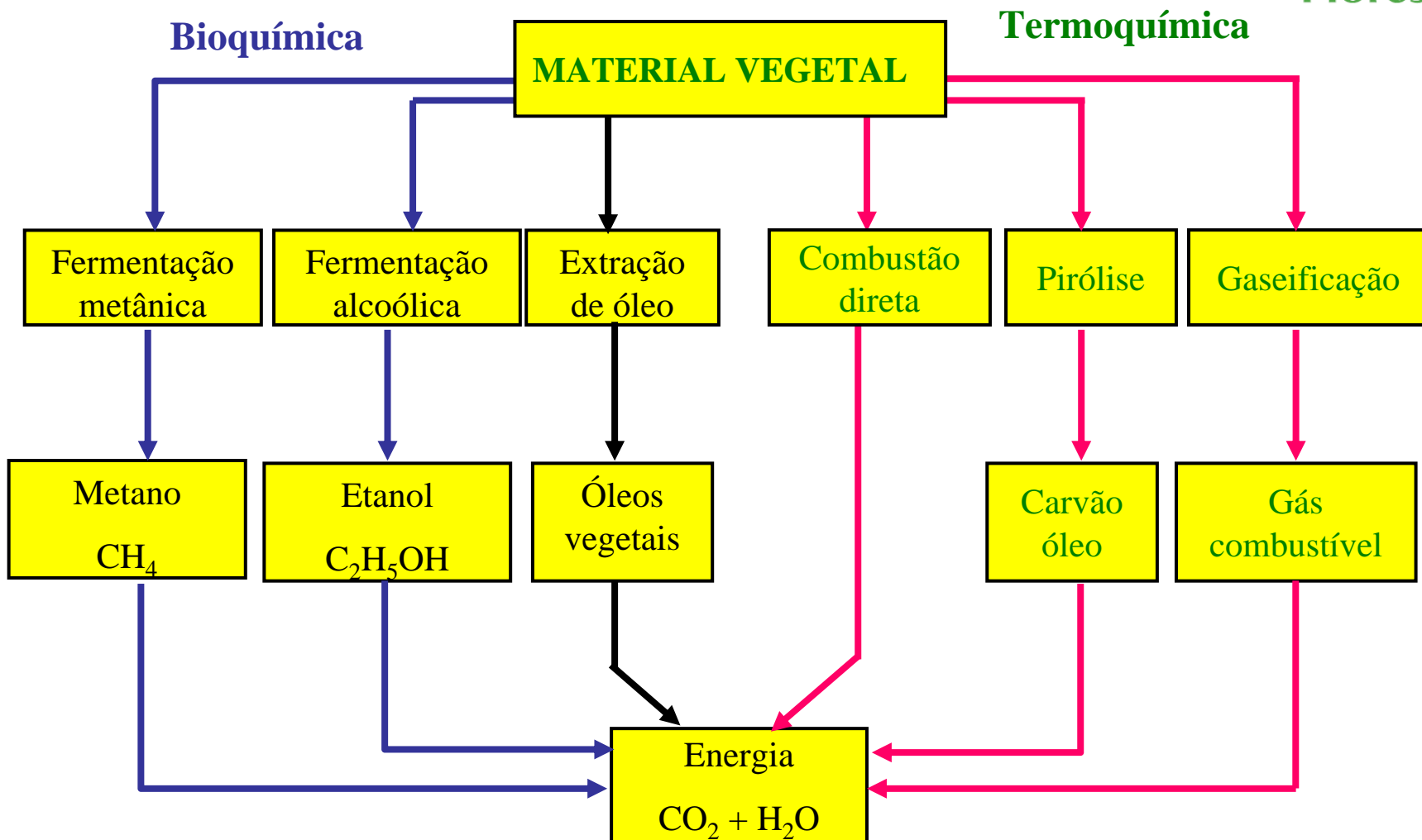


Madeira

- Salgueiro
 - *Salix sp*;
 - Climas temperados e frios;
 - Uso ornamental;
 - Produção de energia elétrica na Europa.



Tecnologias



Tecnologias

- Processos bioquímicos
 - Hidrólise:
 - » Catalisador (H_2SO_4 ou enzimas);
 - » Pré-tratamento (lignina);
 - » Açúcar >> fermentação >> álcool;
 - » Dificuldades: controle e custo.



Tecnologias

- Processos bioquímicos
 - Biogás:
 - » Metano (CH_4);
 - » Produção pelo crescimento de determinadas plantas;
 - » Decomposição de resíduos orgânicos;
 - » Baixa produção de resíduos vegetais;

Tecnologias

- Processo mecânico
 - Briquetagem;
 - Pelletização;



Tecnologias

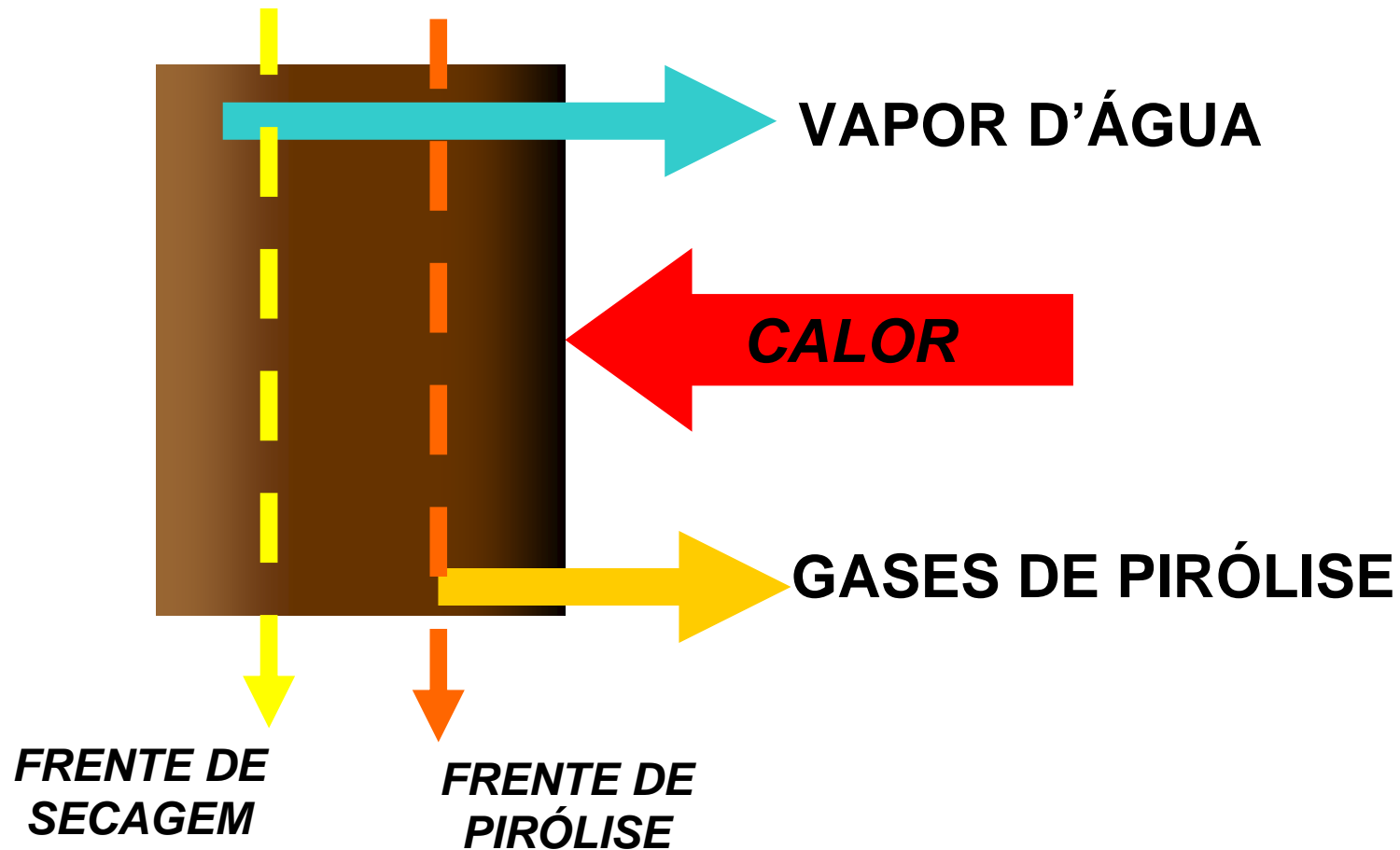
- Briquetagem
 - Lignina viscoelástica;
 - Baixo teor de umidade (8% e 12%);
 - Densidade energética (1 st de briquete é 3 vezes mais energético que 1 st de lenha);
 - Briquetagem de carvão vegetal (aglutinante).



Tecnologias

- Pirólise
 - Decomposição térmica em ausência total ou quase total de agente oxidante (O_2);
 - Densificação energética da madeira.

Tecnologias



Tecnologias

Tempo de residência dos vapores	Temperatura	Líquidos (%)	Sólidos (%)	Gases (%)
curto	alta	75	12	13
Muito longo	baixa	30	35	35
Longo	Muito alta	5	10	85

Tecnologias

Temp. de obtenção do carvão vegetal (°C)	Composição elementar			Rendimento (%)
	C (%)	H (%)	O (%)	
200	52,3	6,3	41,4	91,8
300	73,2	4,9	21,9	51,4
400	82,7	3,8	13,5	37,8
500	89,6	3,1	6,7	33,0
600	92,6	2,6	5,2	31,0
800	95,8	1,0	3,3	26,7
900	96,6	0,5	2,9	26,5

Tecnologias

- Torrefação

Tratamento térmico (endotérmico) a temperaturas relativamente baixas (225 – 300°C) que visa produzir um combustível com maior densidade energética pela decomposição das hemiceluloses.

- Madeira torrificada:

- » Teor de umidade de 3%;
 - » Redução em massa de 20% a 30%;
 - » 80% a 90% do conteúdo energético original;
 - » Aumento da friabilidade.

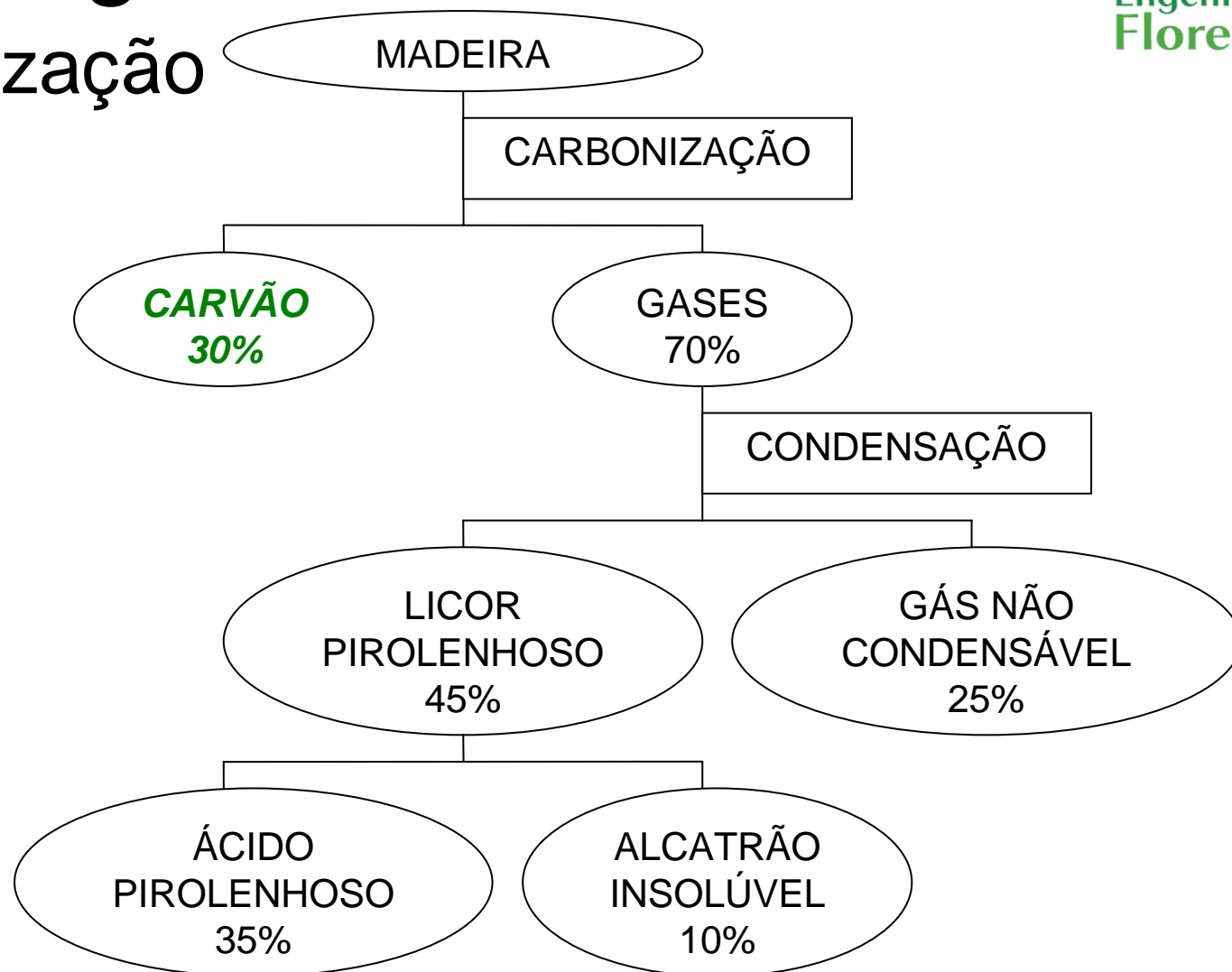
Tecnologias

- Carbonização

%	Madeira	Carvão
Carbono	50	82
Oxigênio	43,5	13
Hidrogênio	6	4
Cinzas	0,5	1

Tecnologias

- Carbonização





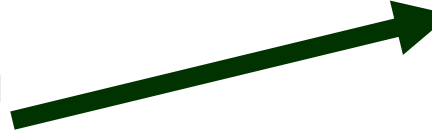
Tecnologias

- Carbonização
 - Fração gasosa: H_2 , CO , CO_2 , e hidrocarbonetos leves não condensáveis (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6);
 - Fração condensável: sub-fração aquosa (álcoois e ácidos), e uma sub-fração orgânica solúvel em água (ácido pirolenhoso) e outra insolúvel (alcatrão);
 - Fração sólida: carvão vegetal.



Tecnologias

- Finos de carvão – 25%;
 - Briquetagem (aglutinante);
 - Injeção nas ventaneiras dos altos fornos;
 - Fabricação de cimento;
 - Gaseificação.





Tecnologias

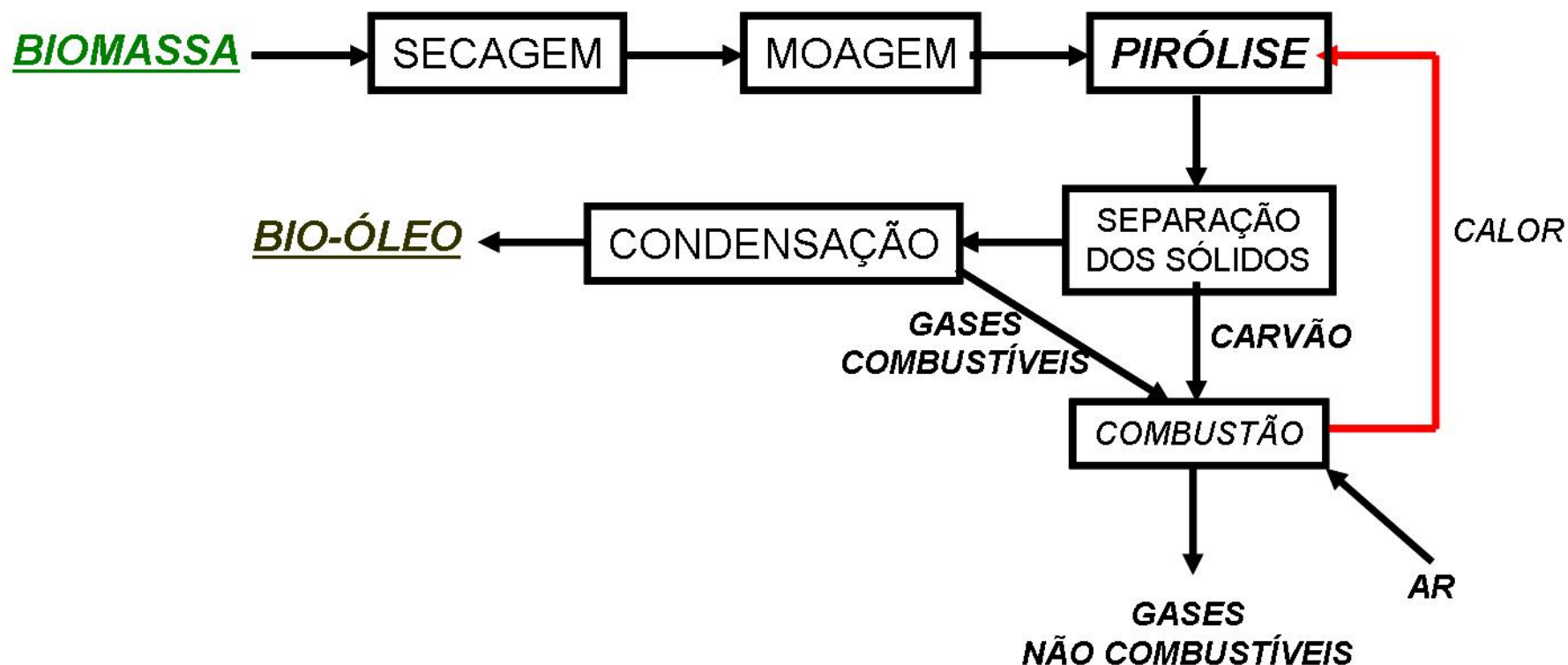
- Carbonização
 - Alcatrão – usos como combustível, impermeabilizantes, imunizantes de madeira, etc.

Composição elementar do alcatrão

Elemento	%
Carbono	59,88
Hidrogênio	7,15
Enxofre	0,02
Umidade	13,85
Outros (O ₂ , N ₂ , etc.)	19,10
Total	100

Tecnologias

- Bio-óleo – pirólise rápida



Tecnologias

- Bio-óleo – pirólise rápida



Propriedades	Valores médios
Teor de umidade	15 – 30%
Densidade	1,2 kg/l
Oxigênio	35 – 60%
Carbono	50 – 58%
Hidrogênio	5 – 7%
pH	2,5
Poder calorífico superior	17 MJ/kg
Sólidos	1%
Viscosidade	10 – 1000 cp (40°C)

Tecnologias

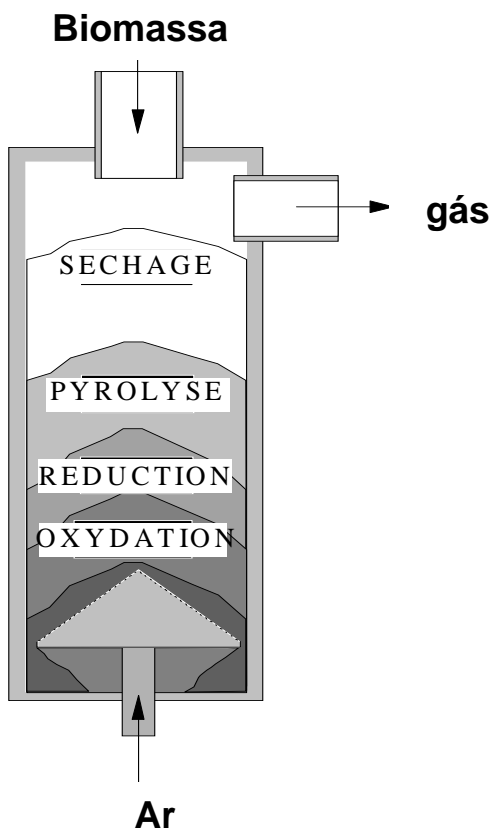
- Gaseificação

- Transformação termoquímica (oxidação) da Biomassa em gás a alta temperatura;
- gás agente: ar, O₂, CO₂, H₂, vapor d'água;
- gases gerados: CO, CO₂, H₂, CH₄,...
- Gás de baixo PC (até 5 MJ/Nm³), médio PC (5 a 10 MJ/Nm³), alto PC (10 a 40 MJ/Nm³).

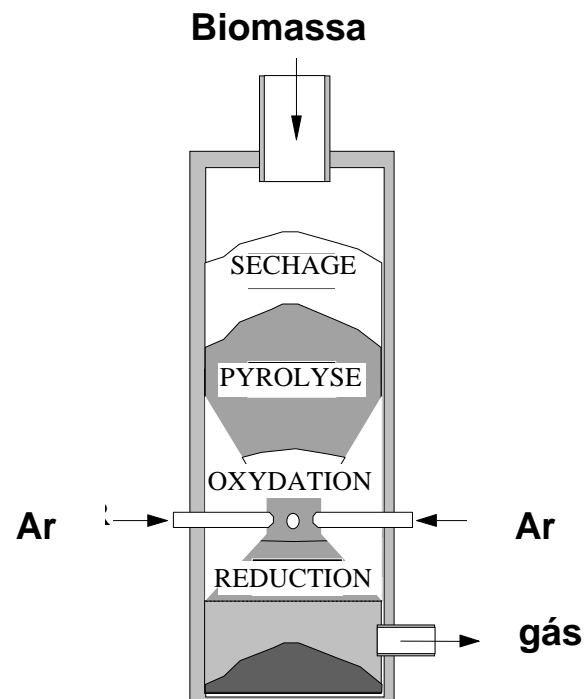
Tecnologias

- Gaseificação

Contra corrente



Concorrente





2ª Semana
Acadêmica de
Engenharia
Florestal

Tecnologias

- Escolha da espécie;
- Produção de mudas;
- Implantação;
- Manutenção;
- Produção.



Propriedades

- Densidade;
- Composição química (imediate e elementar);
- Poder calorífico;
- Rendimento gravimétrico e energético;
- Friabilidade;
- Reatividade.

Propriedades

- Densidade:
 - Densidade da madeira, velocidade de aquecimento e temperatura final de carbonização;
 - Verdadeira, aparente e à granel;
 - Porosidade = $100 - 100 \times \frac{\text{densidade aparente}}{\text{densidade verdadeira}}$

Propriedades

- Composição química:
 - Elementar: quantificação dos elementos C, O, H e outros como Ca, P e K;
 - Imediata: teor de umidade, matérias voláteis, cinzas e carbono fixo.

Propriedades

- Matérias voláteis:
 - H, hidrocarbonetos, CO e CO₂;
 - Influencia a absorção de umidade pelo carvão;
 - Inversamente relacionada com a temperatura final de carbonização.

Propriedades

- Ensaio para determinação do teor de matérias voláteis – norma ABNT 8112/86



2ª Semana
Acadêmica de
Engenharia
Florestal



Propriedades

- Cinzas:
 - Resíduos remanescentes da combustão completa do carvão;
 - Baixos teores (<1%);
 - Maiores teores em função de contaminação.

Propriedades

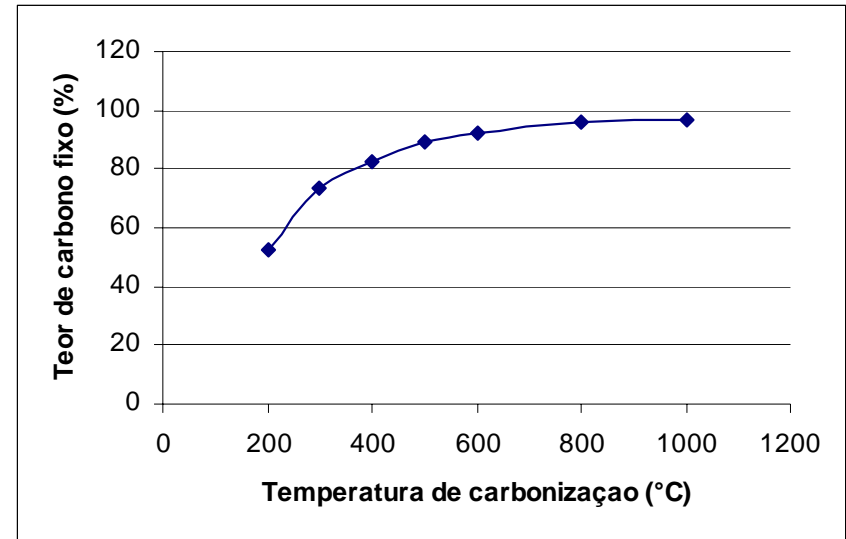
- Ensaio para determinação do teor de cinzas – norma ABNT 8112/86





Propriedades

- Carbono fixo:
 - Componente de maior interesse energético;
 - Relação direta com temperatura final de carbonização;
 - Carbono referente à massa amorfa livre dos voláteis.



Fonte: Rousset, P., 1994

Propriedades

- Poder calorífico:
 - Energia desprendida pela queima completa de uma unidade de massa ou volume de carvão (cal/g ou J/g ou J/m³, 1 cal = 4,18 J);
 - Superior (carvão seco) e Inferior (umidade);
 - Madeira= 19 MJ/kg, carvão= 30 MJ/kg;
 - Relação direta com carbono fixo.



2ª Semana
Acadêmica de
Engenharia
Florestal

MUITO OBRIGADO

Thiago O. Rodrigues
thiagoeffl@gmail.com

61 8123 1832